

## **Gestão de Resíduos Industriais por Incorporação em Materiais para Construção Civil**

Fernando Castro\*, Cândida Vilarinho \*\*, Delfim Soares \*\*

\* Professor Catedrático da Universidade do Minho. Presidente do Conselho de Administração do CVR – Centro para a Valorização de Resíduos

\*\* Professores Auxiliares da Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Mecânica

Campus de Azurém da Universidade do Minho – Azurém 4800-058 Guimarães  
Portugal

Fax: + 351 253 516 007

[fcastro@dem.uminho.pt](mailto:fcastro@dem.uminho.pt)

<http://www.cvrresiduos.pt/>

Palavras chave: resíduos, inertização, cerâmicos, cimentos, betumes

### **Resumo**

Nesta apresentação abordar-se-á a problemática da gestão de resíduos industriais da indústria metalúrgica e de processamento de materiais, por via da sua inertização durante o processo de fabricação de materiais para a construção civil. Referir-se-á, em particular, a experiência de valorização de resíduos da indústria metalúrgica no processo de fabricação de cerâmicos, de clínquer, de misturas cimentosas e de agregados betuminosos. Todos estes materiais, largamente utilizados pela indústria de construção civil, constituem boas opções para o escoamento de resíduos industriais, de forma ambientalmente correcta.

Cada um dos materiais de construção civil testados apresenta características físicas, químicas e de processamento distintas. Esta especificidade implica diferentes aptidões para a inertização de resíduos, o que, globalmente, se apresenta como vantajoso. Os resultados obtidos até ao presente apontam genericamente para a elevada capacidade de valorização de resíduos das indústrias metalúrgicas e de processamento de materiais, por via da sua incorporação na produção de materiais para construção civil.

### **Abstract**

In this presentation, the management of metal and materials processing industrial wastes, by its incorporation in civil construction products will be reviewed. In particular, the incorporation of metallurgical wastes in the fabrication of red ceramics, clinker, cement mortars and bituminous aggregates will be presented. All these materials are commonly used by construction industry and are hence good options for the management of industrial wastes, in a environmentally correct way.

Each of the construction materials shows different and specific physical characteristics and properties. This is an important factor for wastes management, taking into account the variability of physical properties of the wastes themselves. Results obtained in research, both at laboratory and industrial environment, show that this is a very promising way of giving value to wastes from metallurgical and materials processing activities.

## Introdução

Os resíduos industriais representam um problema para as empresas que os geram, carecendo de gestão adequada no contexto de legislação ambiental crescentemente exigente. A nível europeu, a Decisão 2001/118/CE [1] veio estabelecer a Lista Europeia de Resíduos, classificação harmonizada dos resíduos existentes, nos mais variados sectores de actividade. Nessa mesma Lista identificam-se os resíduos que são considerados perigosos. Para tal efeito, consideram-se resíduos perigosos aqueles que apresentem uma ou mais característica de perigosidade, nomeadamente as constantes na Tabela 1.

A gestão de resíduos está regulamentada, em cada País da Comunidade Europeia, por legislação própria. Em Portugal, o Decreto-Lei nº 239/97 [2] define o quadro jurídico para a gestão de resíduos. Com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 194/2000 [3], algumas operações de gestão de resíduos passaram a estar sujeitas à obtenção de Licença Ambiental, no contexto da Directiva nº 61/CE/1996 relativa à prevenção e controlo integrados da poluição.

A política ambiental europeia define como hierarquia da gestão de resíduos [4]:

1. prevenção/ minimização
2. reciclagem/ valorização material
3. recuperação de energia/ valorização energética
4. eliminação segura

Neste contexto, importa, tanto quanto possível, valorizar os materiais contidos nos resíduos industriais produzidos, por forma a promover a preservação das reservas naturais de matérias-primas. Sucede que, muitos resíduos industriais apresentam características praticamente inertes, carentes de qualquer perigosidade, que tornam potencialmente segura a sua utilização como matéria-prima para determinadas indústrias. Tal é o caso dos resíduos das indústria metalúrgicas e de processamento de materiais, em particular da fundição e da siderurgia, da indústria do papel e da celulose, e da indústria de construção civil. Sectores industriais fortemente consumidores de matérias-primas, tal como a

indústria cimenteira, a construção rodoviária e a fabricação de tijolos, telhas, argila expandida e outros produtos cerâmicos, são, por isso, potenciais tomadores de resíduos industriais, desde que observados requisitos de qualidade e de preservação ambiental.

Cód.	Definição
H1	Explosivos
H2	Comburentes
H3	Inflamáveis: ponto de inflamação $\leq 55$ °C
H4	Irritantes: uma ou mais substância R41 em conc. total $\geq 10\%$ ; ou uma ou mais substância R36, R37, R38 em conc. $\geq 20\%$
H5	Nocivos: substâncias cuja inalação, ingestão ou penetração cutânea possam ocasionar efeitos de gravidade limitada; uma ou mais sub. nociva em conc. $\geq 25\%$
H6	Tóxicos: por inalação, ingestão ou penetração cutânea podem provocar riscos graves, agudos ou crónicos, e inclusivamente a morte; substâncias muito tóxicas $\geq 0,1\%$ ; tóxicas $\geq 3\%$
H7	Cancerígenos: uma ou mais substâncias carcinogénicas numa conc. total $\geq 0,1\%$
H8	Corrosivos: uma ou mais substância corrosiva R35 $\geq 1\%$ , ou uma ou mais substância corrosiva R34 $\geq 5\%$
H9	Infecciosos
H10	Teratogénicos: por inalação, ingestão ou penetração cutânea podem induzir deformações congénitas não hereditárias
H11	Mutagénicos: por inalação, ingestão ou penetração cutânea podem provocar defeitos genéticos hereditários
H12	Substâncias e preparados que, em contacto com a água, o ar ou um ácido, libertem gases tóxicos ou muito tóxicos
H13	Substâncias susceptíveis, de, após eliminação, darem origem a uma outra substância, que possua uma das características H1 a H12
H14	Ecotóxicos: substâncias e preparações que apresentem riscos imediatos ou diferidos para um ou vários sectores do ambiente

Tabela 1 – Características de perigosidade de resíduos definidas na legislação da Comunidade Europeia [1]

Nesta apresentação, far-se-á o ponto da situação da investigação desenvolvida no âmbito do CVR – Centro para a Valorização de Resíduos, que procura encontrar soluções de valorização material para resíduos de diversos sectores, a seguir melhor discriminados.

## **Resíduos passíveis de valorização material**

### **Sector da Fundição de Ferrosos**

O sector da fundição de ferrosos tem como principais resíduos as areias de fundição, de moldações ou de machos (vazados ou não vazados), as escórias dos fornos, os refractários usados e as poeiras (dos gases dos fornos, dos sistemas de rebarbagem, da grenalhagem).

Em Portugal, geram-se anualmente cerca de 50.000 toneladas/ano de areias verdes, correspondentes a um factor de emissão médio de 420 kg de areias rejeitadas por cada tonelada de produto vazado. A quantidade de areias de machos, ascende a cerca de 3.000 toneladas por ano. Outros resíduos produzidos pelo sector de fundição de ferrosos são as escórias do forno (cerca de 6.000 toneladas/ano), os resíduos de decapagem e as poeiras de rebarbagem (cerca de 4.000 toneladas/ano, para cada tipo) e os refractários usados (cerca de 3.000 toneladas/ano).

A generalidade destes resíduos é classificada como resíduos inertes ou não perigosos, sendo a sua forma de gestão mais usual, até ao presente, a deposição em aterros controlados.

Alguns resíduos, como as areias de machos, podem apresentar, por vezes, alguma característica de perigosidade, associada ao tipo de ligantes orgânicos utilizados (fenóis, furanos, etc.). Estima-se em cerca de 10 % o total de resíduos classificados como perigosos.

As principais características destes resíduos, relevantes para a sua utilização como matéria prima por outras indústrias são:

*Areias verdes* – elevado ponto de fusão (cerca de 1700 °C no caso das areias quartzíticas); isentas de compostos orgânicos voláteis (COVs); comportamento inerte.

*Areias de machos* - elevado ponto de fusão (cerca de 1700 °C no caso das areias quartzíticas); podem libertar COVs quando aquecidas; presença de potenciais contaminantes como os fenóis e substâncias ácidas.

*Escórias do forno* – elevado ponto de fusão (superior a 1400 °C); elevada dureza; frequentemente vítreas; normalmente isentas de contaminantes.

*Resíduos de decapagem e poeiras de rebarbagem* – elevado teor de ferro, frequentemente na forma oxidada; isentas de contaminantes.

*Refractários usados* – elevado ponto de fusão, embora contenham fases ricas em ferro decorrentes das reacções metal líquido/refractário, que apresentam menos ponto de fusão, podendo descer até cerca dos 1200 °C (casos da rodonite e da faialite). Este aspecto limita a sua reciclabilidade, mas pode ser uma característica vantajosa noutras aplicações.

### **Sector da Fundição de Alumínio**

A fundição de peças em alumínio pode ser efectuada recorrendo a moldações permanentes (coquilhas) ou em areia, sendo ainda frequentemente efectuada por injeção sob pressão. Os resíduos mais frequentemente gerados são a escória do forno (cerca de 400 toneladas/ano, em Portugal) e as areias (cerca de 1.000 toneladas/ano). Enquanto as areias são geralmente um resíduo inerte, as escórias contêm sais solúveis e, em contacto com água, podem, nalguns casos, libertar gases tóxicos em quantidades perigosas (característica H12). São, por isso, com alguma frequência classificadas como resíduo perigoso. Apesar disso, e porque contêm teores apreciáveis de metal, as escórias são normalmente recicladas, por processo de refusão.

As areias, sejam elas de moldação ou de machos, apresentam características similares às areias de fundição de ligas ferrosas.

### **Sector da Fundição de Ligas de Cobre**

As principais ligas de cobre utilizadas em fundição são o latão e os bronzes, sendo os

primeiros vazados principalmente em coquilha, sob gravidade ou baixa pressão. Os bronzes tanto são vazados em coquilhas, como em areia. A fundição de hélices para navios é efectuada em grandes moldações de areia, com geração importante de resíduos.

Destacam-se como resíduos deste sector, as escórias do forno (produzem-se em Portugal cerca de 600 toneladas/ano deste resíduo), as lamas e pós de polimento (cerca de 400 toneladas/ano), as areias de moldação (cerca de 2.000 toneladas/ano, sendo 1.900 toneladas provenientes da fundição de hélices em bronze) e as areias de machos de fundição de latão (cerca de 500 toneladas/ano).

As escórias contêm uma parte metálica e uma parte oxidada. Após separação, normalmente efectuada por crivagem, a parte metálica é reciclada. A componente oxidada, constituída por óxido de zinco e óxido de chumbo, é frequentemente descartada, apesar de o seu aproveitamento ser tecnicamente simples, mas economicamente pouco atractivo. Contudo, pelo facto de esta fracção oxidada ser um resíduo perigoso, a sua gestão deveria ser efectuada de forma mais consentânea com a legislação ambiental.

As lamas e pós de polimento são um resíduo com elevado teor metálico, embora, por estar numa forma finamente dividida, a sua reciclagem por refusão seja algo prejudicada. Contêm metais pesados, nomeadamente zinco, chumbo e níquel.

As areias de fundição apresentam características semelhantes às das areias da fundição de ferrosos. Todavia, há que referir que, no caso da fundição de hélices em bronze, as areias são do processo silicato/ dióxido de carbono, contendo, por isso, um razoável teor de sódio na sua composição. As areias de machos de fundição de latão contêm aglutinantes orgânicos, embora sejam, quase sempre, resíduos não perigosos.

### **Indústria siderúrgica e transformação de ferro e aço**

É um sector fortemente gerador de resíduos. A produção primária de ferro, na fase da redução de minérios em alto-forno, e na fase de conversão da gusa em aço produz, entre outros, resíduos como escórias, poeiras e refractários

usados. Idênticos resíduos são gerados em aciaria eléctrica, sendo que as características físicas e químicas de cada resíduo variam com a fase e a tipologia da operação específica. Na laminagem e na trefilagem de aço, carepas, escamas de laminagem e outros resíduos oxidados são gerados em grandes quantidades. Em Portugal, presentemente, a produção de aço é feita integralmente a partir da refusão de sucatas em forno a arco eléctrico. Os principais resíduos gerados ascendem a cerca de 220.000 toneladas/ano de escórias do forno, 15.000 toneladas/ano de pó de despoeiramento, outro tanto de escamas e cerca de 2.000 toneladas/ano de refractários usados.

As escórias de aciaria são um material vítreo, de elevada dureza e ponto de fusão de cerca de 1400 °C. As escamas são constituídas principalmente por óxidos de ferro, de elevada pureza. O pó de despoeiramento é um resíduo perigoso, que contém na sua composição química zinco, chumbo e cádmio, e que, apesar de estarem disponíveis diversas tecnologias para a sua gestão [5, 6], em Portugal são depositados em aterro controlado, sem qualquer valorização. Nos processos de trefilagem, os ácidos empregues para a decapagem química originam, após seu tratamento físico-químico, lamas de hidróxido de ferro, contaminadas com cloretos ou com sulfatos, consoante o ácido empregue para a operação de decapagem. Actualmente, geram-se, em Portugal, cerca de 1.500 toneladas/ano destas lamas, as quais são depositadas em aterro para resíduos não perigosos, estando a ser testada a sua valorização, por alguns dos métodos que se referirão adiante.

### **Processos electroquímicos de tratamentos de superfície**

Estes processos podem ocorrer em sectores de actividade bem distintos, como as fundições, as metalomecânicas, o sector automóvel, a produção de plásticos, a indústria electrónica, etc. O principal, e muitas vezes único, resíduo derivado desta actividade, está associado à necessidade de os efluentes líquidos do processo serem devidamente tratados, antes da descarga em colectores ou no meio hídrico. O tratamento dos efluentes é normalmente efectuada por

processos físico-químicos. Daí resulta a precipitação de lamas de hidróxidos metálicos (LER 19 08 13 e 19 08 14 [1]). Consoante o tipo de tratamento electroquímico, poderemos ter lamas com distintas características. Assim:

*Lamas de cromagem de peças em latão* – são um resíduo frequente nas empresas que fabricam torneiras sanitárias ou ferragens. Como o processo de revestimento implica uma niquelagem e uma cromagem, as lamas contêm hidróxidos de níquel e de crómio, para além de algum zinco, cobre e chumbo. Consoante o tipo de agente neutralizante seja a soda cáustica ou a cal, as lamas contêm quantidades importantes de sódio, ou de cálcio. Apesar do elevado teor metálico (o teor de níquel pode ultrapassar os 20 % sobre a base da lama seca), o tratamento destas lamas com vista à recuperação dos metais contidos não é efectuado. Tal deve-se à enorme variedade de lamas disponíveis no mercado, que apresentam composições químicas excessivamente variadas e geradas em quantidades que não atingem os mínimos para se tornarem atractivas do ponto de vista económico. Por outro lado, a complexidade da composição destas lamas, torna o tratamento das mesmas difícil. Com o aquecimento, dá-se a decomposição dos hidróxidos em óxidos, podendo haver lugar a alguma volatilização dos metais.

Em Portugal, geram-se cerca de 500 toneladas/ano destas lamas, as quais são frequentemente resíduos perigosos, pelo que a sua gestão passa pela deposição em aterro controlado para resíduos perigosos, sem qualquer valorização.

*Lamas de anodização de alumínio* – são lamas de hidróxido de alumínio, contendo quantidades não desprezáveis de sulfatos, de sódio, e podendo ainda conter algum crómio. Com o aquecimento, o hidróxido de alumínio decompõe-se gerando alumina.

No que toca à sua deposição em aterro, há casos em que as lamas podem ser depositadas em aterros para resíduos não perigosos, ocorrendo noutras situações que o resíduo só pode ser depositado em aterros para resíduos perigosos. Tal depende, frequentemente, da quantidade de

sulfatos que se liberta por lixiviação. A forma de gerir este resíduo tem sido, em Portugal, a deposição em aterro, embora, nos últimos anos, se tenha vindo a observar a implementação de soluções do tipo das apresentadas nesta comunicação. Geram-se, em Portugal, cerca de 5.000 toneladas/ano deste resíduo.

*Lamas de pintura por lacagem* – são lamas constituídas por fracções finas de tintas plásticas. Como resultam da mistura de cores, a sua reciclagem fica comprometida. São polímeros termo-endurecíveis e, actualmente, a forma de gestão das cerca de 1.500 toneladas produzidas por ano em Portugal, consiste na sua deposição em aterro.

### **Processos de combustão**

Os processos de combustão, sejam eles efectuados em caldeiras para produzir calor, em centrais térmicas de produção de electricidade ou em unidades de incineração de resíduos sólidos urbanos ou de resíduos industriais, geram novos resíduos, tais como as cinzas, as poeiras e as escórias. Consoante o tipo de processo, também o tipo de resíduo pode ser diferenciado. Por exemplo:

*Cinzas volantes de centrais térmicas* – são as partículas resultantes da combustão do carvão e que são arrastadas no forno, tendo que ser retiradas em sistema de despoeiramento por precipitação electro-estática. São constituídas por óxidos de silício e de alumínio, contendo ainda uma grande variedade de outros metais, como ferro e cálcio, em teores mais reduzidos. São um resíduo que confere propriedades interessantes aos cimentos, por ter características pozolánicas [7]. Por esse motivo, é um resíduo correntemente utilizado na formulação de cimentos, sendo que essa prática remonta, em Portugal, à década de 80.

*Cinzas volantes de incineradoras de resíduos sólidos urbanos* – são um resíduo rico em silicato de cálcio, contendo ainda óxidos de ferro, sódio, alumínio e potássio [8]. Devido à presença de sódio, de potássio, e de sulfatos, estas cinzas não são incorporadas na produção

de cimentos, sendo, em Portugal, depositadas em aterro, após tratamento de inertização.

*Escórias de incineração de pneus* – são resíduos constituídos por óxidos de ferro e de zinco, contendo uma fracção orgânica importante. Em Portugal, arrancou em 2004 a primeira unidade de incineração de pneus, para geração de calor e de energia eléctrica, estimando-se que a produção de escórias ascenda a 1.500 toneladas/ano.

*Cinzas de caldeiras* – produzidas nas caldeiras a biomassa, são resíduos inorgânicos, podendo conter, na sua composição, alguma fracção não queimada.

### **Indústria de papel e celulose**

A indústria da produção de papel e de celulose gera diversos tipos de resíduos, consoante o tipo de produção. São de destacar, no contexto desta comunicação, os seguintes resíduos:

*Lamas da lixívia verde (dregs)* – são resíduos provenientes da valorização da lixívia de cozimento, sendo ricos em cal e em sulfatos.

*Resíduos de lama de cal (grits)* – são resíduos ricos em cal, que actualmente, em Portugal, são depositados em aterros controlados.

### **Sector da construção civil**

A construção civil é um sector fortemente gerador de resíduos. Quer nas operações de construção propriamente ditas, quer nas tarefas de demolição. Os resíduos são de diversos tipos, destacando-se, no contexto desta apresentação, os resíduos de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos. Estes resíduos têm todos uma matriz do tipo cerâmica, são inertes, e a sua gestão tem passado, em Portugal, quase exclusivamente pela deposição em aterros controlados, sem qualquer valorização.

### **Sectores industriais capazes de incorporar resíduos como matéria-prima secundária**

São diversos os sectores industriais que podem receber resíduos inorgânicos não perigosos, dos tipos dos atrás mencionados, como matéria-

prima secundária, nas suas linhas de fabricação. Passaremos em revista os sectores de cerâmica de barro vermelho, cerâmica de argila expandida, fabricação de clínquer, fabricação de argamassas em cimento e fabricação de misturas betuminosas.

### **Fabricação de cerâmica de barro vermelho**

– inclui-se neste domínio a fabricação de tijolos e de telhas em barro vermelho. Em Portugal, existe mais de uma centena de empresas, produzindo, no total, mais de 4 milhões de toneladas de produtos por ano. Como características dos produtos, assinala-se um não muito elevado grau de exigência, no que toca a especificações de qualidade, permitindo tolerâncias razoáveis. Do ponto de vista da resistência mecânica, os produtos cumprem normalmente e largamente com as especificações. Ao nível do aspecto físico, são características importantes a não existência de fissuras ou fracturas, assim como a salvaguarda de não aparecerem eflorescências de sais. Os produtos são cozidos a alta temperatura, registando-se, frequentemente uma boa capacidade de absorção de resíduos inorgânicos, quer por reacção química com a matriz de silicatos, quer por encapsulamento mecânico [9-12]. Nos últimos anos, têm-se realizado diversos ensaios, à escala industrial, permitindo validar a tecnologia para diversos resíduos, tais como lamas de anodização de alumínio, lamas de cromagem, lamas de decapagem de aço, areias de fundição e lamas de tratamento de águas de consumo [13]. Os critérios que conduzem à aceitabilidade da técnica de inertização aplicada ao fabrico de cerâmicos de barro vermelho incluem três componentes: características físicas do produto (confrontação com as especificações do mesmo), qualidade das emissões gasosas (verificação das condicionantes legais em matéria de níveis de contaminantes nas emissões gasosas) e lixiviabilidade do produto.

### **Fabricação de cerâmicos em argila expandida**

– a produção de argila expandida representa, em Portugal, cerca de 600.000 toneladas por ano, distribuídas por duas empresas. A fabricação de argila expandida caracteriza-se por o produto não apresentar especificações muito exigentes,

ao nível de aspecto. Com efeito, o aspecto e nomeadamente a cor, podem ser muito diversos, não sendo o produto sensível à presença de eflorescências ou de defeitos superficiais como fissuras. Resíduos que entrem em combustão e, por via disso, libertem gases durante a cozedura, apresentam interesse, por promover a expansão da argila. Vários resíduos têm sido testados, com sucesso, nas matrizes de barro para fabricação de argila expandida. Os critérios de aceitabilidade são idênticos aos usados no caso da fabricação de cerâmica em barro vermelho.

**Fabricação de clínquer e de cimento** – a fabricação de clínquer implica a transformação das matérias-primas calcárias a temperaturas superiores a 1400 °C. A essas temperaturas, boa parte dos constituintes inorgânicos dos resíduos fundem, ou reagem com a matriz calcária. A componente orgânica entra em combustão. Em Portugal, produzem-se cerca de 10 milhões de toneladas de cimento por ano. Vários testes foram realizados, com bons resultados para areias de fundição, lamas de diversos tipos, escórias de aciaria, e resíduos da indústria de papel e celulose. A validação da prática passa por garantir que as emissões gasosas são isentas de contaminantes, que o clínquer possui a qualidade exigida e que, ao nível da lixiviação, não se verificam alterações significativas pelo facto de se ter incorporado resíduos como parte integrante do cabaz de matérias-primas para a sua produção [14]. Na formulação dos cimentos, é comum proceder-se à incorporação de cinzas de carvão de centrais térmicas [15].

**Fabricação de argamassas em cimento** – as argamassas em cimento são uma das principais aplicações do cimento, representando, em Portugal, mais de metade do consumo. Neste caso, a incorporação é efectuada a frio, não sendo de esperar reacção química intensa, mas principalmente o encapsulamento físico das partículas de resíduo, em substituição do inerte. A vantagem da incorporação a frio reside no facto de não ocorrerem decomposições por via térmica, ao contrário do que sucede com os processos atrás referidos. Todavia, apresenta como inconveniente o facto de não haver grande reactividade, condicionando, por isso, a

inertização do resíduo. Resíduos que contenham sais solúveis provocam geralmente um fraco desempenho mecânico das misturas. Bons resultados foram obtidos, contudo, para escórias de fundição de alumínio [16].

### **Fabricação de misturas betuminosas**

As misturas betuminosas são intensivamente utilizadas em construção rodoviária. Em Portugal, a sua produção ascende a cerca de 5 milhões de toneladas por ano. O processo de fabricação é de baixa temperatura, não ultrapassando tipicamente os 160 °C. O nível de decomposição dos componentes orgânicos e inorgânicos não é exagerado a estas temperaturas, sendo este um aspecto importante a reter no contexto da valorização de resíduos. No caso de resíduos orgânicos, existe a possibilidade de haver reacção com a fracção betuminosa, podendo alguns resíduos substituir em parte o betume. Quanto aos resíduos inorgânicos, eles podem substituir o filler ou a brita, consoante a sua granulometria. Resultados interessantes foram obtidos com escórias de incineração de pneus, lamas de anodização de alumínio, lama de ETAR de indústria vidreira, areias de fundição, escórias de aciaria, escórias de centrais térmicas e resíduos de borracha [17].

### **Conclusões**

A fabricação de materiais para construção civil constituiu uma forma ambientalmente correcta de gerir resíduos não perigosos, com composições compatíveis com as aplicações previstas. Do ponto de vista da preservação ambiental e da sustentabilidade desta prática de gestão de resíduos, importa garantir que a qualidade das emissões gasosas permaneça dentro de limites aceitáveis e sempre em conformidade com o estipulado legalmente. Por outro lado, é essencial que os produtos fabricados tenham carácter garantidamente inerte e possuam as características de qualidade adequadas ao seu uso. Pelos estudos efectuados, e que englobaram experimentação à escala industrial, vários resíduos da indústria metalúrgica e de processamento de materiais podem ser correctamente geridos, se incorporados na fabricação de materiais para construção civil, em condições técnicas

adequadas. Tal representa evidentes benefícios ambientais quando comparada esta prática com a deposição em aterro, apresentando ainda vantagens no contexto da exploração sustentada dos recursos naturais, por via de contribuir para uma maior vida útil da reservas disponíveis.

## Referências

- [1] Decisão da Comissão de 16 de Janeiro de 2001, 2001/118/CE, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 16.02.2001, versão PT, pp. L 47/1 a L 47/31.
- [2] Decreto-Lei nº 239/97, Diário da República – I Série-A, 09/09/1997, pp. 4775-4780.
- [3] Decreto-Lei nº 194/2000, Diário da República – I Série-A, 21/08/2000, pp.
- [4] Decisão do Conselho de 15 de Julho de 1975, 75/442/CE, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 16.02.2001, versão PT, Capítulo 15, Fascículo 1, pp. 0129.
- [5] J.M. Figueiredo e F.A. Castro - O tratamento das poeiras de fornos a arco eléctrico siderúrgico e a reciclagem dos metais contidos - state-of-the-art, Materiais'93, Porto, 1993
- [6] F. A. Castro - Some Alternative Approaches for the Treatment of Electric Furnace Steelmaking Dusts, in RESIDUES AND EFFLUENTS - PROCESSING AND ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS, Ed. The Minerals, Metals & Materials Society, 1992, p. 179-186.
- [7] H.F.W. Taylor – Cement Chemistry, Ed. Thomas Telford, 1997, pp. 272-280.
- [8] C.F.M.L. Figueiredo – Reciclagem de resíduos sólidos urbanos incinerados por vitroceramização, 2as Jornadas Politécnicas de Engenharia, Setubal - Portugal. Novembro, 2002.
- [9] F. Castro, J.A. Labrincha, R.R.F. Silva, J.M. Figueiredo - Processo para a obtenção de cerâmica de barro vermelho incorporando lamas de tratamento dos efluentes gerados em operações de tratamento de superfície de metais, ou areias ou finos de areias de fundição e produtos daí resultantes, Patente nº 102597, Portugal, 2004.
- [10] J.M. Magalhães – Inertization of galvanic sludges by its incorporation in ceramic bodies, PhD Thesis, Universidade do Minho, 2002.
- [11] J.M. Magalhães, J.E. Silva, F. Castro, J.A. Labrincha – Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludges in clay-based ceramics, Journal of Hazardous Materials, 106B, 2004, pp 139-147.
- [12] J.M. Magalhães, J.E. Silva, F. Castro, J.A. Labrincha – Role of the mixing conditions and composition of galvanic sludges on the inertization process in clay-based ceramics, Journal of Hazardous Materials, 106B, 2004, pp 169-176.
- [13] F. Castro, C. Vilarinho, D. Soares - A inertização de resíduos por incorporação em materiais cerâmicos, Valorização de Resíduos, nº 1, Abril 2003, pp. 11-12.
- [14] F. Castro, F. Nunes, J. Labrincha - Resíduos como matérias primas secundárias para a fabricação de cimento, Valorização de Resíduos, nº 3, Outubro 2003, pp. 3-5.
- [15] F.C. Vieira – Valorização de cinzas do carvão, Seminário sobre Valorização de Resíduos em Obras Geotécnicas, Guimarães, 2004.
- [16] D.A. Pereira; B. Aguiar; F. Castro; M.F. Almeida; J.A. Labrincha - Mechanical behaviour of Portland cement mortars with incorporation of Al-containing salt slags, Cement and Concrete Research, Ed. Pergamon Press, Vol. 30, Julho de 2000, pp. 1131-1138.
- [17] A. Pinelo – Utilização de resíduos em vias de comunicação, Seminário sobre Valorização de Resíduos em Obras Geotécnicas, Guimarães, 2004.